



УДК 662.74

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА КАМЕННОГО УГЛЯ

## A STUDY ON THE PYROLYSIS BEHAVIOUR OF BITUMINOUS COAL

**Лазебный Иван Павлович**, магистрант каф. «Тепловых электрических станций», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

**Осипов Павел Валентинович**, ст. преподаватель каф. «Тепловых электрических станций», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: p.v.osipov@urfu.ru. Тел.: +7(343)375-47-31

**Ivan P. Lazebny**, master student, Department «Thermal Power Plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia.

**Pavel V. Osipov**, Senior Lecturer, Department «Thermal Power Plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: p.v.osipov@urfu.ru. Ph.: +7(343)375-47-31

**Аннотация:** Объектом исследования является каменный уголь одного из российских месторождений. Проведены экспериментальные исследования пиролиза угля методом термического анализа, с целью оценки перспектив глубокой переработки для данного типа угля. Получены данные по скорости выхода летучих при разных скоростях нагрева.

**Abstract:** The main feedstock of this study was coal from one of the Russian deposits. Pyrolysis experimental studies were carried out by means of thermal analysis to assess coal prospects for IGCC & Xtl technologies. New data on volatilities release at different heating rates was obtained.

**Ключевые слова:** пиролиз; переработка угля; кинетика.

**Key words:** pyrolysis; coal conversion; kinetics.

В условиях наметившейся тенденции снижения потребления угля в энергетике у многих угледобывающих компаний возникает интерес к технологиям глубокой переработки данного вида топлива. К таким процессам можно отнести пиролиз (коксование) углей, газификацию, гидрогенизацию. В зарубежной практике данные технологии обозначаются как IGCC & Xtl – процессы внутрицикловой газификации и получения химических продуктов.

По данным Минэнерго, в 2016 г. Россия занимала третье место в мире по экспорту угля после Индонезии и Австралии. Одним из крупнейших по запасам угля и объемам добычи остается Кузнецкий угольный бассейн, который обеспечивает более 70% общероссийского экспорта угля. В 2016 г. добыча угля в Кузбассе основными производителями (ОАО «СУЭК», ОАО УК «Кузбассразрезуголь» и др.) составила 227,4 млн т.

С образцами отобранного Кузнецкого каменного угля были проведены лабораторные исследования, с целью определения технического и элементного состава. Результаты анализов представлены в таблице 1. Исследования проводились с

навесками, предварительно измельченными с помощью чашечного истирателя. Средний размер частиц после дробления составил 40 мкм, результаты распределения по размерам приведены на рис. 1. Эксперименты по исследованию пиролиза проводились методом термического анализа в анализаторе NETZSCH STA 449 F3. Во время разогрева печи с разными скоростями нагрева происходил выход летучих, который фиксировался с помощью блока весов и по показаниям масс-спектрометра. Доля летучих, выделявшихся в процессе пиролиза, составляла в среднем 37-39%.

Таблица 1.

Технический и элементный состав угля

Параметр	Размерность	Значение
$W^a$	%	2,9
$A^d$		23,7
$V^d$		29,9
$V^{daf}$		39,2
$C^{daf}$		78,79
$H^{daf}$		5,97
$N^{daf}$		2,16
$S^{daf}$		0,97
$O^{daf}$		12,11
$Q_s^{daf}$	МДж/кг	33

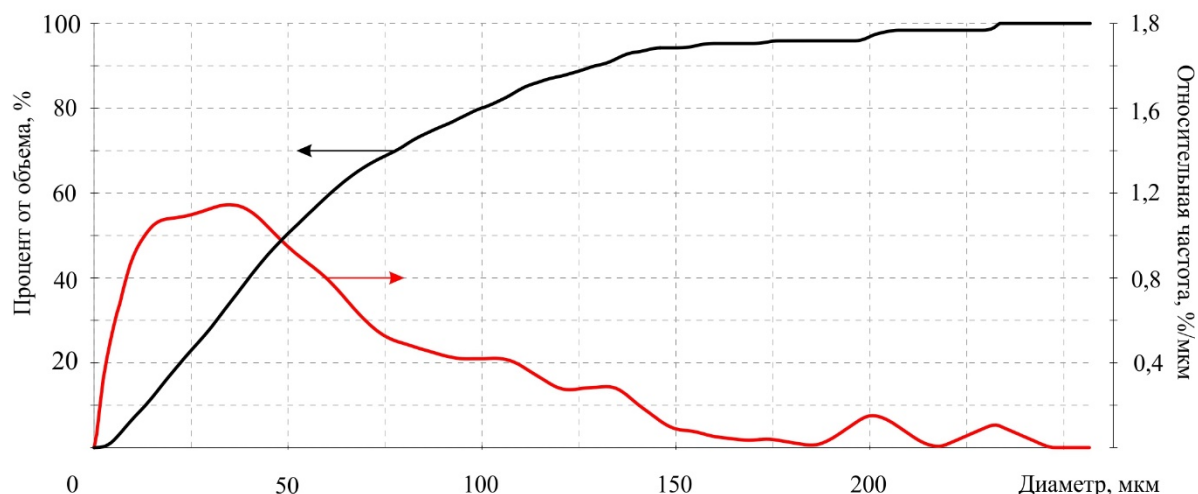
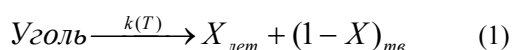


Рис. 1. Распределение размера частиц исследуемых образцов

В литературе можно встретить различные модели, применяемые при описании процесса пиролиза, которые в упрощенном виде записываются как:



Скорость выхода летучих веществ при этом описывается соотношением:

$$\frac{dV}{d\tau} = k \cdot (V^{\text{daf}} - V), \quad (2)$$

где  $\tau$  – время,  $V$  – доля летучих. Константа скорости реакции ( $k$ ) описывается классическим уравнением Аррениуса:

$$k = A \cdot \exp \frac{E}{R \cdot T} \quad (3)$$

По результатам исследования процесса пиролиза определяются кинетические параметры: энергия активации ( $E$ , кДж/моль) и предэкспоненциальный множитель ( $A$ , 1/с). В данной работе варьировалась скорость нагрева ( $\beta$ ), которая составляла 5, 7,5, 10, 15 и 20 К/мин.

$$\beta = \frac{dT}{d\tau} \quad (4)$$

Итоговое выражение, по которому проводился расчет скорости пиролиза, получено из уравнений (2-4):

$$\frac{dV}{dT} = \frac{1}{\beta} \cdot A \cdot \exp \frac{E}{R \cdot T} \cdot (V^{\text{daf}} - V), \quad (5)$$

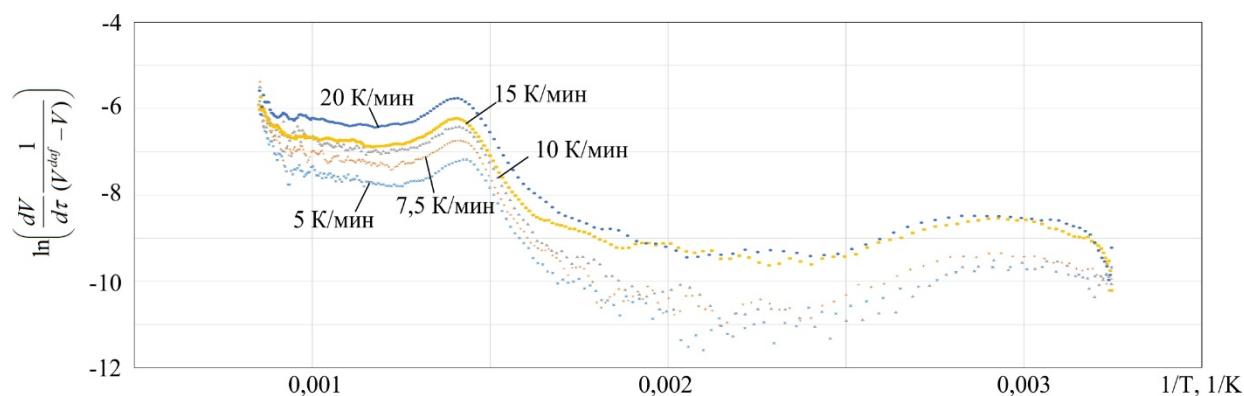


Рис. 2. Зависимость скорости пиролиза от обратной температуры при разных скоростях нагрева

На рис. 2 приведены кривые конверсии Кузнецкого каменного угля в среде аргона при разогреве печи с различными скоростями. Анализ данных показывает, что в температурном интервале от 270 до 440 °С происходит основной выход летучих. С ростом скорости разогрева

максимум скорости пиролиза смещается в область более высоких температур. В результате исследования определены кинетические параметры стадии пиролиза, которые будут использованы при технической оценке технологий глубокой переработки Кузнецкого угля.